

4) после внедрения воздушных завес или теплообменников; 5) после внедрения системы утилизации теплоты охлаждения кирпичей и вагонеток; 6) после внедрения системы охлаждения кирпичей и вагонеток и устройства теплоизоляции трубопроводов; а – полезное количество теплоты для технологического процесса обжига; б – потери теплоты в окружающую среду через ограждающие конструкции; в – потери теплоты с отходящими газами; г – потери теплоты с нагретыми кирпичами.

Выводы. При существующем состоянии туннельная печь характеризуется значительными расходами топлива на производство кирпичей и низким коэффициентом полезного действия, что объясняется следующими причинами:

1. Низкие теплозащитные характеристики ограждающих конструкций печи, что способствует значительными потерями теплоты в окружающую среду.

2. Отсутствие систем рециркуляции продуктов сгорания и воздушных завес, что существенно снижает эффективность использования теплоты продуктов сгорания топлива в печи.

3. Отсутствие утилизации теплоты обожженной продукции и вагонеток, которая составляет приблизительно 40 % в тепловом балансе печи. Указанная теплота теряется безвозвратно, что существенно ухудшает теплотехническую эффективность печи.

Повышение эффективности работы туннельной печи предлагается осуществить за счет внедрения ряда энергосберегающих мероприятий изложенных в таблице.

Общая годовая эффективность внедрения мероприятий составляет 2540 тыс. грн., срок окупаемости 0,5 года.

По результатам внедрения энергосберегающих мероприятий КПД печи увеличить с 7,6 % до 18 %, а расход газа снижается в два раза и составляет 130 м<sup>3</sup> на 1000 шт. условного кирпича.

#### Список использованных источников

1. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б. Экономия энергии в промышленности. НГТУ, Н.Новгород, 1998. — 220 с.
2. Рекламный буклет фирмы «Keller GMBH». 2004. — 34 с.
3. Типовой проект печи для обжига керамики производительностью 26 млн. шт. условного кирпича в год 409-21-13. 1974. — 76 с.

УДК 621.746.584

**Ю. Г. Ярошенко<sup>1</sup>, Ю. И. Липунов<sup>2</sup>, А. Б. Смаханов<sup>1</sup>, М. В. Захарченко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия,

<sup>2</sup> ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» - ОАО «ВНИИМТ», г. Екатеринбург, Россия

#### РАЗРАБОТКА РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДО-ВОДОВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЗАКАЛКЕ

##### Аннотация

*В статье приведены результаты экспериментов по равномерности распыления водо-воздушной смеси при орошении колец подшипников из стали ШХ15, проведенных в условиях опытного стенда ОАО «ВНИИМТ». Исследованы процессы истечения водо-воздушной смеси как из одиночных форсунок различного размера, так и из специальной конструкции водо-воздушного коллектора с форсунками. Установлены углы раскрытия факелов, пределы изменения параметров водо-воздушной смеси, а именно соотношения расходов воды и воздуха, при которых достигается требуемая равномерность распыла.*

*Ключевые слова: Водно-воздушное, охлаждение, термообработка, закалка, форсунка, коллектор, сталь, подшипниковая.*

### **Abstract**

*The article presents the results of experiments on the uniformity of spraying the air water mixture in the irrigation of bearing rings of steel SHKH15, carried out in the experimental stand of the OJSC "VNIIMT", the processes of expiration of the air water mixture from a single nozzle of varying size and of special design of air assisted manifold with nozzles. Set the angles of the disclosure of torches, the ranges of parameters of the air water mixture, namely the ratio of costs of water and air, which achieves the required uniformity of the spray.*

*Keywords: Air water, cooling, heat processing, hardening, jet apparatus, collector, steel, bearing.*

### **Введение**

По существующей технологии, термообработка изделий из подшипниковой стали проводится при температуре от 810°C до 880°C с последующим охлаждением в воде до 200°C и в масле [1]. Термическая обработка подшипниковых сталей ШХ15 включает отжиг, закалку и отпуск. Цель термической обработки повысить контактную выносливость материала колец и тел качения. Структура высокоуглеродистой хромистой подшипниковой стали при термообработке представляет собой отпущенный мелкозернистый мартенсит и мелкодисперсные сфероидизированные карбиды. Необходимую вязкость обеспечивает присутствие участков остаточного аустенита, не успевшего преобразоваться в мартенсит.

Технология закалки в масле имеет ряд значительных и неустраняемых недостатков, а именно:

- недостаточная интенсивность охлаждения в интервале структурных превращений приводит к «мягкой» закалке и, впоследствии, к невысокому уровню механических свойств;
- невозможность управлять процессом охлаждения;
- низкая экологичность (грязь, испарения, дым, канцерогены);
- высокая пожароопасность из-за постоянного поверхностного возгорания;
- необходимость большого объема вспомогательного оборудования: систем циркуляции, подогрева-охлаждения, моечных машин и т.д.

Спрейерная закалка это один из эффективных методов термической обработки сплавов, особенно, когда необходимо отвести от поверхности изделия тепловой поток высокой интенсивности. Поскольку подшипниковые стали имеют большую склонность к трещинообразованию, то для охлаждения изделий из них нецелесообразно использовать охлаждение чисто водяными струями, которое может привести к большим внутренним напряжениям. Поэтому для термообработки изделий из подшипниковых сталей было выбрано водовоздушное охлаждение, как более мягкое и экологически чистое.

Использование систем водовоздушного охлаждения дает возможность обеспечить следующие преимущества:

- получать уровень свойств в стальных изделиях существенно выше, чем при охлаждении в используемых охладителях, за счет регулируемого охлаждения в определенных температурно-временных условиях, при этом минимизировать остаточные и временные напряжения;
- устранять вероятность трещинообразования и коробления;
- решать все экологические проблемы;
- получать более значительную экономическую эффективность за счет уменьшения капитальных и эксплуатационных затрат;
- снижать существенно себестоимость термообработки;
- обеспечивать возможности реализации новых экономических и эффективных технологий (закалка с самоотпуском, термоциклирование и т.д.)

Конкретная разработка устройства водовоздушного охлаждения осуществляется с учетом требуемых параметров работы охладителя, а также с учетом специфики существующего производства, марочного и размерного сортамента.

*Ключевые слова: Водно-воздушное, охлаждение, термообработка, закалка, форсунка, коллектор, сталь, подшипниковая.*

### **Abstract**

*The article presents the results of experiments on the uniformity of spraying the air water mixture in the irrigation of bearing rings of steel SHKH15, carried out in the experimental stand of the OJSC "VNIIMT", the processes of expiration of the air water mixture from a single nozzle of varying size and of special design of air assisted manifold with nozzles. Set the angles of the disclosure of torches, the ranges of parameters of the air water mixture, namely the ratio of costs of water and air, which achieves the required uniformity of the spray.*

*Keywords: Air water, cooling, heat processing, hardening, jet apparatus, collector, steel, bearing.*

### **Введение**

По существующей технологии, термообработка изделий из подшипниковой стали проводится при температуре от 810°C до 880°C с последующим охлаждением в воде до 200°C и в масле [1]. Термическая обработка подшипниковых сталей ШХ15 включает отжиг, закалку и отпуск. Цель термической обработки повысить контактную выносливость материала колец и тел качения. Структура высокоуглеродистой хромистой подшипниковой стали при термообработке представляет собой отпущенный мелкозернистый мартенсит и мелкодисперсные сфероидизированные карбиды. Необходимую вязкость обеспечивает присутствие участков остаточного аустенита, не успевшего преобразоваться в мартенсит.

Технология закалки в масле имеет ряд значительных и неустраняемых недостатков, а именно:

- недостаточная интенсивность охлаждения в интервале структурных превращений приводит к «мягкой» закалке и, впоследствии, к невысокому уровню механических свойств;
- невозможность управлять процессом охлаждения;
- низкая экологичность (грязь, испарения, дым, канцерогены);
- высокая пожароопасность из-за постоянного поверхностного возгорания;
- необходимость большого объема вспомогательного оборудования: систем циркуляции, подогрева-охлаждения, моечных машин и т.д.

Спрейерная закалка это один из эффективных методов термической обработки сплавов, особенно, когда необходимо отвести от поверхности изделия тепловой поток высокой интенсивности. Поскольку подшипниковые стали имеют большую склонность к трещинообразованию, то для охлаждения изделий из них нецелесообразно использовать охлаждение чисто водяными струями, которое может привести к большим внутренним напряжениям. Поэтому для термообработки изделий из подшипниковых сталей было выбрано водовоздушное охлаждение, как более мягкое и экологически чистое.

Использование систем водовоздушного охлаждения дает возможность обеспечить следующие преимущества:

- получать уровень свойств в стальных изделиях существенно выше, чем при охлаждении в используемых охладителях, за счет регулируемого охлаждения в определенных температурно-временных условиях, при этом минимизировать остаточные и временные напряжения;
- устранять вероятность трещинообразования и коробления;
- решать все экологические проблемы;
- получать более значительную экономическую эффективность за счет уменьшения капитальных и эксплуатационных затрат;
- снижать существенно себестоимость термообработки;
- обеспечивать возможности реализации новых экономических и эффективных технологий (закалка с самоотпуском, термоциклирование и т.д.)

Конкретная разработка устройства водовоздушного охлаждения осуществляется с учетом требуемых параметров работы охладителя, а также с учетом специфики существующего производства, марочного и размерного сортамента.

### Опытная часть

Первые опыты использования водо-воздушной смеси для охлаждения металла были проведены еще в 1965 году Д. В. Будриным, В. М. Кондратовым [2].

Для обоснования возможности применения устройств регулируемого водо-воздушного охлаждения для закалки изделий из подшипниковой стали в Центре новых систем охлаждения и технологий термоупрочнения металлов ОАО «ВНИИМТ» разработана программа стендовых исследований.

На первом этапе на испытательном стенде Центра была организована отработка конструкции коллектора для водо-воздушного охлаждения и исследование процесса струйного охлаждения при использовании плоскофакельных форсунок (рис.1). В задачу этого этапа исследования также входило определение конструкции коллектора для промышленных условий и режимных параметров подачи водо-воздушной смеси для охлаждения подшипниковых колец.

В начале исследований были проведены опыты (проливка) с форсунками, цель которых состояла в оценке возможности максимального распыления, а также в оценке параметров факела – его ширины и длины. Поскольку распылительная возможность форсунки оценивается, как важный показатель режима охлаждения, то в опытах исследовали параметры подачи струи, при которых струя могла бы равномерно охлаждать поверхность колец на подносе. Установка форсунок предусматривала также формирование струй воды с образованием факела, направленного вниз (рис.1). Результаты части исследований работы форсунок приведены в табл. 1.

Анализ результатов показал, что в широком диапазоне изменения давления и расхода воды ширина факела форсунки оставалась практически неизменной, а угол раскрытия факела форсунки находился в пределах  $54...58^\circ$ .

Следующий этап исследования был посвящен определению режимных параметров работы специально созданного коллектора для охлаждения подшипниковых колец сверху. Во время исследований на коллекторе было установлено 5 форсунок, расположенных таким образом, чтобы форсунки направляли струи воды вниз. Расстояние от среза форсунок до роликов составляло 300 мм. На рис. 1 приведен эскиз коллектора, а на рис. 2 фотография работающего коллектора. Часть результатов исследования представлено в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики работы форсунки диаметром 8,2 мм

Р <sub>воды</sub> , МПа	Q <sub>воды</sub> , м <sup>3</sup> /ч	Ширина факела – Н, мм		
		Расстояние от поверхности орошения, мм		
		200	300	500
0,20	0,65	200	300	490-500
0,30	0,78	210	310	500-505
0,39	0,91	220	310	510-515
0,40	0,96	205	320	520
0,45	1,00	215	300	530

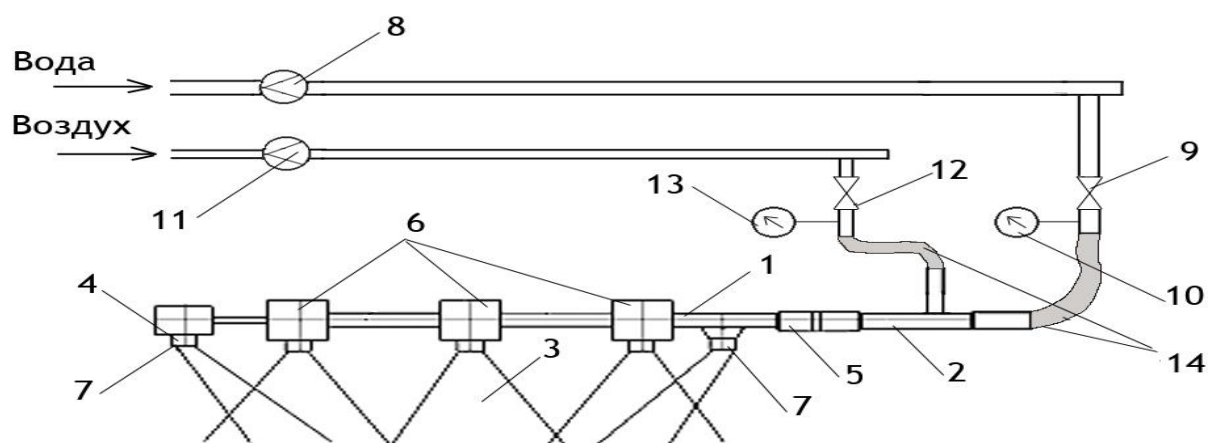


Рис. 1. Эскиз коллектора водо-воздушного охлаждения:

- 1 – корпус; 2 – смеситель; 3 – водо-воздушный факел; 4 – форсунка;  
 5 – соединитель для изменения длины и/или вставки диффузора разных диаметров;  
 6 – форсунки с центральной выдачей; 7 – форсунки с боковой выдачей;  
 8 – расходомер для воды; 9 – вентиль для воды; 10 – манометр для воды;  
 11 – диафрагма для воздуха; 12 – вентиль для воздуха;  
 13 – манометр для воздуха; 14 – гибкие подводки.

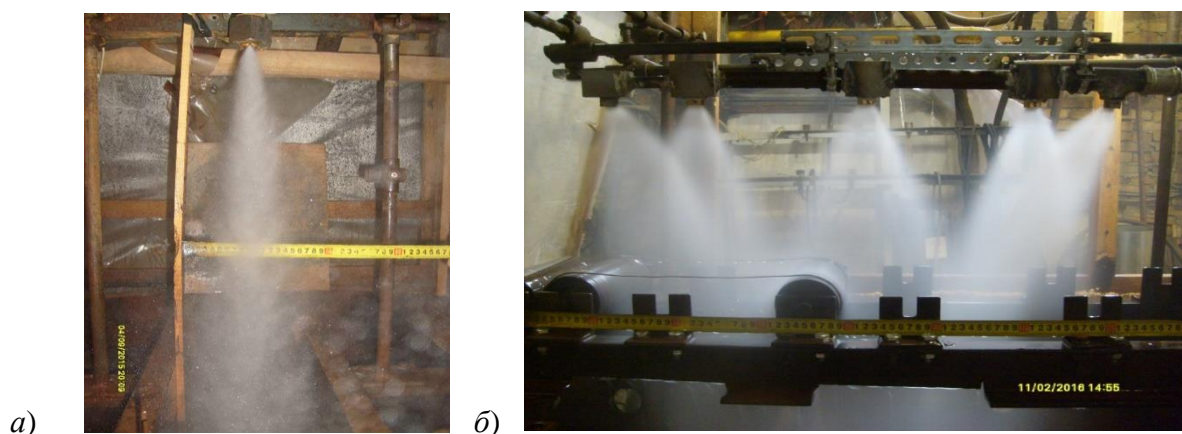


Рис. 2. Работа (проливка) одиночной форсунки (а) и коллектора с 5-ю форсунками (б)

Таблица 2

Результаты исследований работы коллектора

Опыт	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	Расход воздуха, нм <sup>3</sup> /ч	Соотношение расходов воздуха и воды, доли	Характеристика распыления
1	1,2	85	70	Начало полного распыла
2	1,19	96	80	Ощущаются капли
3	1,2	109	90	Почти нет капель
4	1,21	121	100	Почти нет капель
5	1,02	126	123	Ощущаются капли
6	0,91	120	131	Ощущаются капли
7	0,85	137	161	Прекрасный распыл
8	0,75	129	172	Великолепный туман

Анализ взаимного расположения факелов форсунок (рис. 2) показывает, что факела первой и последней по ходу форсунок (с боковой выдачей) обеспечивают перекрытие факелов второй и четвертой форсунок (с симметричным факелом) соответственно.

В результате ряда проведенных экспериментов по истечению воды и водо-воздушной смеси как из одиночных форсунок, так и из группы форсунок, установленных в коллекторе, определены параметры воды и воздуха, при которых достигается наиболее равномерное распределение водо-воздушной смеси по площади орошения. В дальнейшем намечено исследовать процессы нагрева подшипниковых колец с приваренными к ним термодатчиками до температуры 820...860°C в печи и процессы их закалки водо-воздушной смесью.

#### Список использованных источников

1. Сталь марки ШХ15 [Электронный ресурс] / Центральный металлический портал РФ, 2014. Реж. доступа: <http://metallischekiy-portal.ru>.
2. Будрин Д.В., Кондратов В. М. Металловедение и термическая обработка металлов. 1965. №6. – С. 22-25.

УДК 621.746.584

**Ю. Г. Ярошенко<sup>1</sup>, Ю. И. Липунов<sup>2</sup>, К. Ю. Эйсмонт<sup>2</sup>, В. С. Кузнецова<sup>1</sup>,  
М. В. Захарченко<sup>2</sup>, Е. В. Киселев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия,

<sup>2</sup> ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ»), г. Екатеринбург, Россия

### РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТРУБ ДЛЯ ТПЦ-1 ЧТПЗ

#### Аннотация

*Проведено расчетное моделирование процесса ускоренного охлаждения в устройстве спрейерного охлаждения для условий цеха ТПЦ-1 Челябинского трубопрокатного завода. Определены начальные и граничные условия решения уравнения Фурье для бесконечного цилиндра для условий охлаждения водяными струями. Установлен расход воды на устройство и определена его длина для труб различного типоразмера, обрабатываемых в технологической цепочке пильгерстана.*

*Ключевые слова: ускоренное охлаждение, трубы, низколегированная сталь, расход воды, пильгерстан.*

#### Abstract

*A computational modeling of the accelerated cooling process in the cooling spray device was made for conditions of the TPC-1 shop of Chelyabinsk Pipe Rolling Plant. Initial and boundary conditions of the solution of the Fourier equation for an infinite cylinder cooled with water flows were determined. The water consumption on each device and length were determined for pipes of different sizes processed in the processing chain of pilgerstan.*

*Keywords: cooling proces, pipes, steel, low-alloy steel, water consumptio, pilgerstan.*

Трубопрокатный цех №1 ЧТПЗ производит бесшовные трубы на пильгерстане из трубных низколегированных сталей, в частности, стали 30Г2, характеристики которой приведены в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав стали 30Г2

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.26 - 0.35	0.17 - 0.37	1.4 - 1.8	до 0.3	до 0.035	до 0.035	до 0.3	до 0.3